

УДК: 620.18:669.15-194.55:621.78

А. А. Шацов, С. К. Гребеньков*, С. К. Лаптев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

**drive@rtural.ru*

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ СО СТРУКТУРОЙ ПАКЕТНОГО МАРТЕНСИТА

Объемное наноструктурирование обеспечивает ранее недостижимые свойства стали. Известные способы объемного диспергирования структуры до наноуровня: интенсивная пластическая деформация, консолидация нанопорошков, кристаллизация аморфных сплавов и т.д. не позволяют получить конкурентоспособные крупногабаритные наноструктурированные материалы с требуемым сочетанием характеристик прочности и надежности. Однако высокие механические свойства возможны у материалов наноструктурированных термической обработкой.

Ключевые слова: термоциклическая обработка, низкоуглеродистая сталь, пакетный мартенсит, наноструктурирование.

A. A. Shatsov, S. K. Grebenkov, S. K. Laptev

NANOSTRUCTURED LOW CARBON STEELS WITH THE STRUCTURE OF THE PACKET MARTENSITE

Bulk nanostructuring provides previously unattainable properties of steel. Known methods of volumetric dispersion of the structure to the nanoscale: intensive plastic deformation, consolidation of nanopowders, crystallization of amorphous alloys, etc. do not allow to obtain competitive large-sized nanostructured materials with the required combination of strength and reliability characteristics. However, high mechanical properties are possible in heat-treated nanostructured materials.

Key words: thermocyclic treatment, low carbon steel, batch martensite, nanostructuring.

При многократных альфа-гамма-альфа переходах пакетный (реечный) мартенсит позволяет диспергировать характерные элементы структуры при закалке. В качестве объекта исследований выбрана низкоуглеродистая мартенситная сталь (НМС) 15Х2Г2НМФБ со структурой пакетного мартенсита, формирующегося при закалке, в том числе на спокойном воздухе в сечениях более 200 мм [1–4].

Структуру изучали при помощи оптического, просвечивающего и растрового электронно-микроскопического анализов. В исходном горячекатаном состоянии средняя ширина рейки стали составила 250 нм. Рейки объединены в пакеты с различными углами разориентации. Средний размер пакетов составляет 2–3 мкм.

Закалка с температуры 850 °С привела к измельчению зерна ($d = 5–6$ мкм), но вызвала значительную разнотернистость (степень разнотернистости $R = 4,10$). Увеличение температуры до 950 °С устранило разнотернистость ($R = 2,78$), но размер зерен восстановился до значения, близкого к исходному состоянию. Поэтому для измельчения структуры использовали многоцикловую термическую обработку (МЦТО) с закалкой с 950 °С и последующей закалкой с 850 °С.

При МЦТО происходит образование и фрагментация реечно-пластинчатой (глобулярной) структуры. Образование двух морфологических типов мартенсита предположительно связано с расслоением твердого раствора. При увеличении количества циклов МЦТО рейки и пластинки согласованно разбиваются на фрагменты, которые по форме и размерам напоминают блоки. В результате наноструктурирования стали 15Х2Г2НМФБ прочность составила более 1500 МПа, при ударной вязкости $KCV = 1,0$ МДж/м². Указанному сочетанию свойств соответствовала фрагментированная реечно-пластинчатая структура со средним размером реек 80–90 нм и пластинок 160–185 нм. Дальнейший рост прочности при измельчении характерной структурной составляющей сопровождается понижением вязкости.

Таким образом, при МЦТО, включающем закалку, возможно наноструктурирование НМС, которое сопровождается значительным повышением характеристик прочности и вязкости.

Литература

1. Эволюция фазового состава, дефектной структуры, внутренних напряжений и перераспределение углерода при отпуске литой конструкционной стали / Э. В. Козлов [и др.]. Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2007. 177 с.

2. Формирование зеренной и реечной структуры в низкоуглеродистых мартенситных сталях термоциклированием / И. В. Ряпосов [и др.] // МиТОМ. 2008. № 9. С. 33–39.
3. Концепция карбидного конструирования сталей повышенной хладостойкости / В. И. Горынин [и др.] // МиТОМ. 2014. № 10. С. 32–37.
4. New experimental evidence on the incomplete transformation phenomenon in steel / F. G. Caballero [et al.] // Acta Materialia. 2009. № 57. P. 8–17.